

泸州南郊二水厂加药加氯工艺设计

赵杰

武汉市政工程设计研究院有限责任公司四川分公司

摘要：加药加氯间是给水污水处理厂不可或缺的处理建筑物，贯穿于整个给水处理工艺流程，加药加氯设计是确保供水水质与供水安全的关键性因素。以泸州南郊二水厂为例，通过对原水水质的分析，确定了加药加氯投加药剂种类、投加点以及投加剂量，该厂原水经过相关处理后出水水质优良，且项目建成后运行至今，供水水质稳定，供水安全得以保障。

关键词：净水厂；加药；加氯；高锰酸钾；粉末活性炭

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.05.091

一、工程概况

泸州南郊二水厂位于泸州市江阳区华阳街道四渡溪，紧邻现有南郊一水厂而建，总设计规模为20万m³/d。水厂以长江作为水源，水源水质较好，水质指标基本符合《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）中的II类水质标准，水厂采用斜管预沉、网格絮凝、平流沉淀、V型滤池过滤、液氯消毒工艺。文章着重探讨该工程加药加氯系统的工艺设计，包含高锰酸钾投加间、粉末活性炭投加间、PAM（聚丙烯酰胺）投加间、PAC（碱式氯化铝）投加间、液氯投加间等设计内容。

二、原水水源及水质分析

（一）原水水源

泸州中心城区地处沱江与长江的交汇处，有丰富的地表水资源，长江在泸州段的多年平均流量为8540m³/s，最枯流量为2000m³/s。沱江年平均流量为455m³/s。由于受地质条件限制，泸州市是地下水贫乏地区，因此泸州市区的供水水源应选择长江、沱江两江水体的地表径流。

在两江水体中，由于受上游沿江城市的污染，目前沱江水体在泸州段污染较严重，据《泸州市2009年环境质量状况公告》，沱江水质普通较差，而该段长江水源水质较好，自净能力较强，在汛期除含泥砂量较大、大菌群超标外，其余时段长江干流大渡口、手爬岩、罗九溪、沙溪口等共计4个监测断面水质，均符合国家《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）中的II类水质，故长江是泸州市城区主要饮用水水源的唯一选择。

（二）原水水质

经2009年至2011年连续三年对该取水点取水化验，结果均显示该处水源水质较好，仅在长江丰水期时，浊度和含砂量均较高，长江泸州段的原水历年最高浊度为8200NTU，最低浊度为15NTU，平均浊度为317NTU，最大含砂量在6kg/m³以上。

（三）去除指标分析

对比原水水质和出厂水标准，凡是原水指标高于出厂水指标的均为不合格项，均需要进行针对性处理。本工程水源除粪大肠菌群指标外，其余指标均能达到《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）的II类标准。结合原水水质化验结果，通过原水水质指标和出厂水执行的《生活饮用水卫生标准》（GB 5749—2006）的对比分析，可以得出本项目需要处理的经常性超标项目主要是浊度、大肠菌群。从净水厂安全运行考虑，还应注意汛期高浊度原水的处理，以及防范和应对水源周边突发事件所引起的臭味、氨氮、色度、农药、酚、铁、锰等常见污染。

三、处理方法及药剂方案

（一）色度和浊度的去除

去除色度和浊度的水处理工艺主要是沉淀（包括澄清）、气浮和过滤，对本工程水源水质来说，色度为正常水平，常规净水处理工艺即可去除。原水的浊度主要在沉淀或气浮池中去除，滤池则是把关构筑物，并去除由有机物质造成的色度。只有当进入滤池的浊度符合要求时，才能产生符合标准的出厂水。结合国内各大型水厂常规处理工艺的运行情况，本工程主体水处理工艺采用“絮凝沉淀+过滤”。但考虑到暴雨时可能使长江江水泥沙或悬浮物暴增，将带来处理困难，浊度可达到甚至超过10000NTU。因此，当原水浊度超过1000~2000NTU时，可在配水井前投加PAM，使得原水经过预沉后将出水浊度控制在1000NTU以下，再进入二级絮凝沉淀池。在二级絮凝沉淀池进水处投加PAC，可进一步降低浊度，使之满足过滤工序对浊度的需求。

（二）细菌总数、大肠菌群的杀灭

细菌总数、大肠菌群的杀灭主要依赖于水的消毒处理，消毒处理是生活饮用水处理工艺中的最后一道屏障。其方法有化学法与物理法，消毒剂主要有液氯、氯胺、臭氧、紫外线辐射、二氧化氯，其中液氯消毒历史最久，应用最广泛。本工程中将目前水厂常用的液氯和二氧化氯性能进行比较，如表1所示。

考虑到本水厂规模较大，结合远期考虑，选择液氯消毒可降低运行成本；其次现有南郊一水厂内用的也是液氯消毒，当地有较丰富的使用经验；此外，当地也有不少液氯生产厂家，原料供应方便。故本工程结合以上优点选用效果良好，运行成本较低的液氯消毒。

（三）氨氮的去除

长江泸州段原水偶有氨氮污染原水发生，多发在4~6月份农灌季节，暴雨时节时农田水位暴涨，农药等

表1 消毒剂技术经济比较表（以20万m³/d规模计）

性能	液氯	二氧化氯
消毒灭细菌	优良	优良
灭病毒	优良	优良
灭微生物	一般	最好
pH值影响	消毒效果随pH值增大而下降，在pH=7效果较好	pH 值影响比较小，在pH>7时效果较好
在配水管网中的剩余消毒作用	有	比氯有更长的剩余消毒时间
副产物生成THM	可生成	不大可能
其他中间产物	产生氯化化和氯化中间产物	产生的中间产物为氯化芳香族化合物，亚氯酸盐等
国内应用情况	应用广泛	应用较广泛
一般投加量	1.0~2.0 mg/L	0.5~1.0 mg/L
接触时间	30 min	30 min
设备+土建投资	256万（含液氯回收装置）	280万
折旧费用（万元/年）	12.42	13.58
维护修理费（万元/年）	2.48	2.72
药剂费（万元/年）	35	42
电费（万元/年）	13.5	22
年成本费用（万元/年）	63.40	80.30
年运行费用（万元/年）	50.98	66.72
单位运行成本（元/t）	0.02	0.03

污染物随雨水流入长江，造成江水污染，所以本工程需要考虑氨氮污染的应对措施。根据国内各大自来水厂的试验和运行经验，折点加氯能有效去除原水氨氮污染。对原水污染尤其是氨氮污染的处理方法，在目前净水处理工艺中较为广泛采用的是投加H₂O₂、ClO₂、KMnO₄、Cl₂等强氧化剂，各强氧化剂均能不同程度地降低原水TOC、COD_{Mn}等污染指标，但除Cl₂外都不能在滤后水中去除氨氮，进而造成水厂运行时因消毒控制困难而减产、停产。而根据国内各大自来水厂的运行经验，若将粉末活性炭投加和折点加氯工艺有机的结合起来，则可充分地发挥粉末活性炭的吸附功效，去除三氯甲烷等副产物的前驱物，降低水中致突变物质的生成概率；并能在降低COD_{Mn}污染指标的同时，减少折点加氯投加量。因此，本水厂设计时按照具有折点加氯能力考虑。

（四）耗氧量及嗅、味的去除

耗氧量及嗅、味的发生原因及影响与氨氮污染相类似，在净水工程设计中也需有完备的应对措施。COD反映了水中有机物的含量，随着单项污染物（例如氨氮、酚、油脂、悬浮物等）被除去，COD也被去除。常规水处理工艺中对COD的去除率一般为20%~30%，如果再考虑有针对性的氧化吸附等措施，去除率可达到40%~50%。此外，原水中铁、锰等成分超标时也可通过强氧化剂（高锰酸钾和前加氯）氧化去除。感官性状臭味、色度等污染物也可通过吸附等措施去除。

本水厂考虑设置粉末活性炭投加以进行吸附，并设高锰酸钾强氧化等预处理工艺，同时考虑预留远期深度处理用地，保证对各项污染物质的去除效率。

1. 高锰酸钾和前加氯

高锰酸钾和氯均为强氧化剂，高锰酸钾氧化能力比臭氧弱，比氯气强，但能和水中的无机物生成无机化合物，有利水沉淀去除。高锰酸钾亦能氧化去除原水中的铁、锰，能有效控制、去除部分氯气无法去除的异味、异嗅；同时可以把水中的大分子有机物氧化成小分子有机物，这样便有利于粉末活性炭的吸附去除；高锰酸钾还可以杀灭藻类，当投加量在0.5~1.0mg/L时，保持接触时间10min即可杀灭90%以上藻类。

在净水处理中，为使氧化过程充分进行，高锰酸钾应尽早投入水中，以最大程度地去除异嗅异味、有机物、铁、锰、藻类等。因此，本工程在取水泵站进厂管道上投加高锰酸钾，投加点设置于沉砂池前约500m处的进水主管上，保证3min以上的反应时间。

本工程前加氯投加点设在预沉池的进水主管上，当二沉池的斜管滋生青苔或原水遭遇氨氮污染时启用，但在粉末活性炭投加期间或高锰酸钾投加期间则停止投加。

2. 粉末活性炭

粉末活性炭主要吸附原水中的芳香族类有机物、酚与氯酚类、腐殖质酸等有机物，并同时吸附水中致嗅物以及产生色度的物质，工程中通常设置粉末活性炭配合折点加氯以去除氨氮。

本工程粉末活性炭则投加在配水井前，聚合氯化铝则投加在絮凝池前的分流隔板混合池内，这样避免高锰酸钾、粉末活性炭以及聚合氯化铝因投加在同一点处而产生化学药品之间的互相干扰而影响药效。粉末活性炭

的投加应根据设在取水泵站的污染物和味、臭等指标浓度来控制,超过标准值,启动投加系统,以去污染物。因此,设置粉末活性炭投加系统可以应付短期及突发性的酚、农药和其他有机物的水质污染。同时粉末活性炭可去除原水中色、嗅味、微量有机物及农药的污染。

(五) 各系统药剂投加量

各系统药剂投加量及每日最大用量如表2所示。

表2 药剂投加量

药剂种类	投加量 (mg/L)	每日最大用量 (kg)
PAC	10~60	12000
PAM	0.1~0.3 (干粉)	60
预氯 (前加氯)	0.5~1.0, 最大2.0	400
后加氯	1.0	200
高锰酸钾	0.5~2.0, 最大投加浓度4%	400
粉末活性炭	10~30, 炭浆浓度5%	6000

(六) 各系统主要设备设计参数

高锰酸钾、粉末活性炭投药间与加药加氯间合建,为一幢单层建筑物,其中高锰酸钾、粉末活性炭投药间总平面尺寸为L×B=25.5×10.5m,粉末活性炭投加间层高9m,高锰酸钾投加间层高5.7m;加药间平面尺寸为L×B=41.4×8.7m,层高7.2m;加氯间平面尺寸为L×B=41.4×13.2m,层高5.1m;框架结构。

(1) 高锰酸钾投加间设KMnO₄制备装置主机一套,含10~15kg/min的真空吸料机1套,Q=0.6m³/h的投加泵3台,2用1备,并配套设置电磁流量计等阀门附件;

(2) 粉末活性炭投加间设粉末活性炭投加设备1套,含直径D=3.2m的料仓一座,容量为10m³,以及机械振打系统、空气压缩机系统、真空吸料机、多螺旋给料机、螺旋推进器、混合罐、搅拌机等,变频螺杆泵3台,参数:4.5m³/h,4bar。

(3) 加药间设PAM自动投加装置2套,投配能力为8000L/h;PAC投加隔膜计量泵3台,投配能力为4000L/h;

(4) 加氯间设柜式自动控制真空加氯机3台,投加能力Q=50kg/h,配套液氯蒸发器等附属设备及配件。

(七) 工艺流程设计

据前文所述,泸州南郊二水厂水源取自长江,该水源点取水泵站距离净水厂尚有1000m距离,满足高锰酸钾3min以上反应时间的要求。因此在沉砂池前约500m处的进水干管上设高锰酸钾投加点,保证充足的反应时间;而后在配水井前干管上设PAM及粉末活性炭投加点,前加氯则设置在配水井进水处,晚于PAM及粉末活性炭投加30s~60s;聚合氯化铝及后加氯投加点位则按常规设置,分别设于絮凝池进水处、清水池进水管上。具体投加点位如图1所示。

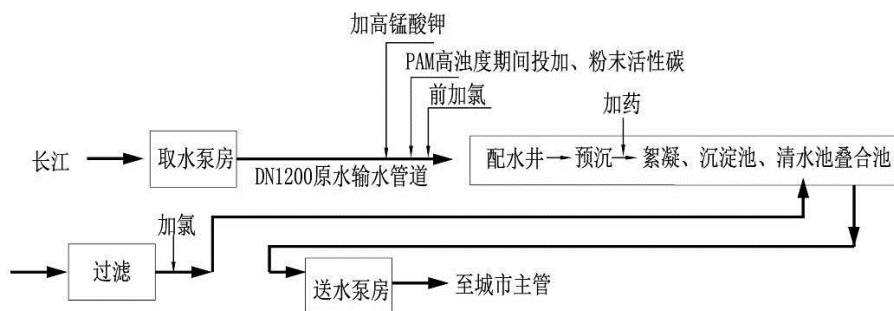


图1 工艺流程图

四、结论

泸州南郊二水厂水源水质较好,但随着城市发展以及日益严重的工业、农业污染,应在水源水质检测结果的基础上,充分考虑水质恶化的可能,并对未来可能出现的突发事件预留相对充足的工艺设计富余,优化加氯加药系统的设计,从而使城市供水水质及供水安全得以保障。

参考文献

[1] 贺斯佳,张硕,孙昊,等.活性炭吸附饮用水中三卤甲烷的实验研究[J].浙江大学学报(理学版),2022,49(04):489-497.
 [2] 陈宏源,赵奇特,张凯风.次氯酸钠用于饮用水消毒时副产物风险和控制[J].中国给水排水,2021,37

(20):34-40.
 [3] 张静,于金宝,熊伶,崔福义.高锰酸钾氧化及其联用技术在饮用水处理中的应用[J].给水排水,2021,57(08):167-176.
 [4] 王栋,贾瑞宝,孙韶华,等.饮用水消毒副产物检测技术应用进展[J].中国环境监测,2020,36(03):1-9.
 [5] 董慧峪,李凌菲,刘沛峰,等.饮用水消毒工艺对病毒的灭活[J].环境工程学报,2020,14(07):1718-1727.
 作者简介:赵杰,男,本科,注册公用设备工程师(给排水),高级工程师,研究方向:市政给排水。